



Tielaitos

Tuomo Kollanen

Laatukriteerien määrittäminen laatuvastuurakentamista varten

Tielaitos
TIEL/20
PÄÄLLYSTEIDEN LAATUVAATIMU
KSIIN LIITTYVÄT TUTKIMUKSE
31.07.1995 KK 342
Asian tun:241/94/20/TIEL
Ark=KK Säil=10 Tärk=
Liite 1/1

**Tielaitoksen
selvityksiä**

59/1995

Helsinki 1995

Kehittämiskeskus

Tielaitoksen selvityksiä
59/1995

Tuomo Kollanen

**Laatukriteerien määrittäminen
laatuvastuurakentamista varten**

Tielaitos
Kehittämiskeskus

Helsinki 1995

ISSN 0788-3722
ISBN 951-726-128-4
TIEL 3200334
Oy Edita Ab
Helsinki 1996

Julkaisun kustannus ja myynti:
Tielaitos, hallinnon palvelukeskus,
painotuotepalvelut
Telefax (90) 1487 2652

Joutsenmerkin arvoinen paperi

Tielaitos
Opastinsilta 12 A
PL 33
00521 HELSINKI
Puh. vaihde (90) 148 721

TIIVISTELMÄ

Kulumiskestävyys on olennainen päällysteen laatutekijä. SRK-laitteen on todettu soveltuvan päällysteen laatumittauksiin varsin hyvin. Jonkinasteiseksi ongelmaksi ovat kuitenkin muodostuneet ohuet päällysteet, joiden kulumiskestävyuden mittaaminen SRK:lla voi olla ongelmallista. Selvityksen mukaan koekappaleiden yhdistäminen ei vaikuta SRK-tulokseen, joten se on käyttökelpoinen testimenetelmä ohuehkoille päällysteille. Todella ohuilla päällysteillä joudutaan kuitenkin käyttämään erilaista testausmenetelmää. Vaihtoehtoisena menetelmänä Suomessa on käytettävissä Tröger-laite, jonka tulosten yhteyttä SRK-arvoihin selvitettiin.

Eri urakoissa saatujen SRK-tulosten perusteella tarkistettiin aikaisemmassa VTT:n tutkimuksessa annettujen rajojen soveltuvuutta. Aineiston mukaan laadittuja raja-arvoja voidaan tämän mukaan soveltaa käytännössä.

Deformaatiokestävyyttä ei ole toistaiseksi käytetty laatuvarastuurakentamisessa laatuksiteerinä. Sen mittaaminen valmiista päällysteestä on kuitenkin mahdollista tehdä poranäytteistä tehtävällä jaksollisella virumiskokeella. Tutkimuksessa selvitettiin sekä ohuempien näytteiden että eri tavoin yhdistettyjen koekappaleiden deformaatumista kokeessa suhteessa normaaleihin koekappaleisiin. Koetulosten perusteella kipsillä yhdistettyjen koekappaleiden deformaatiotulokset vastaavat melko hyvin normaalien koekappaleiden tuloksia.

Alku-uramittaukset ovat toistaiseksi olleet merkittävän laatuvarastuurakentamisen laatuksiteeri. Tutkimuksessa selvitettiin palvelutasomittarin (PTM) sekä Mapvision -auton käytettävyyttä kyseisissä mittauksissa. Alku-urasyvyyden keskiarvon sakotusraja-arvoina tulisi käyttää -2 - +3 mm:iä. Tällöin PTM:lla yksittäisen 100 m alku-ura saisi laitteen tarkkuuden perusteella olla enintään +5 mm, Mapvision-autolla yksittäisen mittauksen enimmäisarvo olisi vastaavasti +4 mm. Alku-uramittaus tulisi ajoittaa 3-6 viikon päähän päällysteen valmistumisesta.

PTM:n soveltuvuutta lajittumien inventointiin makrokarkeusmittarin avulla selvitettiin koekohteiden avulla. Tutkimus kuitenkin osoitti, ettei menetelmää voida vielä hyödyntää lajittumien kartoittamisessa. Sen sijaan PTM:n sivukaltevuusmittarin tarkkuus on jo niin hyvä, että laitteen hyödyntäminen on mahdollista tulevissa laatuvarastuu-urakoissa.

Keywords Quality requirements, Laboratory testing, Road measurements

ABSTRACT

Wear resistance is an essential quality parameter for asphalt pavements. A Pavement Wear Resistance Tester (PWR) has been found to be very suitable for quality control measurements of asphalt pavements. Wear resistance of thin overlays is, however, slightly problematic to be measured with a PWR-tester. According to this study, joining of two test samples with plasterstone does not effect on PWR-values. Thus, it is an useful test method also for rather thin layers. Very thin layers have to be tested using different test methods. An alternative method used in Finland is Tröger-device. The relationships between PWR-tester and Tröger-device were also examined in this study.

The current PWR-value requirements, defined in a previous study the VTT, were checked using real data from several contracts. The results gained supported the applicability of the current criteria.

Recitance to deformation has not yet been used as quality parameter in quality guarantee contracts. Nevertheless, it can be determined with dynamic creep test using core samples. Samples of thin layers were taken and several different combinations of these layer samples were made, and deformations of these sample units were tested and compared to normal samples. According to the test results, deformation of two thin samples, which are joined with plasterstone, corresponds rather well to deformation of normal sample units.

The initial rut depth has been the most important parameter in quality guarantee contracts. Applicability of road surface monitoring system (PTM) and Mapvision-system was analysed in this study. The penalty limits for the average initial rut depth should be -2 and 3 mm, and 5 mm for a single 100 m measurement value, if PTM is used, or 4 mm, if Mapvision is used. The measurement of initial rut depth should occur between three and six weeks after completion of paving work.

The applicability of PTM's macrotexturemeter for the inventory of segregations was examined using test sections data. The results revealed, however, that this method can not yet be utilised in evaluation of segregations. On the other hand, the accuracy of the PTM's crossfallmeter was found to be so high that it could be utilised in quality guarantee contracts.

ALKUSANAT

Laatuvastuurakentamisen vähäiseen suosioon päällystystöissä on ollut syynä soveliaiden laadunmittausmenetelmien puute sekä se, ettei laatukriteerejä ole osattu asettaa oikein. Tämän tutkimuksen taustalla on ollut pyrkimys selvittää erilaisten mittausmenetelmien soveltuvuutta laatuvastuurakentamisessa sekä mitattujen suureiden perusteella asetettavia laatuvaatimuksia.

Tutkimuksen on tehnyt dipl.ins. Tuomo Kollanen VTT:n Yhdyskuntatekniikan tutkimusyksiköstä tielaitoksen kehittämiskeskuksen toimeksiannosta. Tielaitoksen yhteyshenkilönä on toiminut ins. Kalevi Toikkanen.

Helsingissä joulukuussa 1995

*Tielaitos
Kehittämiskeskus*

SISÄLTÖ

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

ALKUSANAT

1 JOHDANTO	9
2 KULUMISKESTÄVYYS	10
2.1 Tieltä porattujen kappaleiden testaaminen SRK-laitteessa	10
2.2 SRK- ja Tröger-laitteen tulosten yhteys	12
2.3 SRK-tulokset laatukriteerinä	13
3 DEFORMAATIOKESTÄVYYS	15
3.1 Deformaation mittaus tieltä otetuista näytteistä	15
3.2 Koekappaleen paksuuden vaikutus deformaatioon	15
3.3 Koekappaleiden yhdistämisen vaikutus deformaatioon	16
3.4 Deformaatiokestävyydelle asetettavat laatukriteerit	17
4 ALKU-URAMITTAUKSET	18
4.1 Tutkimusmenetelmät	18
4.2 PTM:n ja Mapvision-auton vertailumittaukset	19
4.3 Alkupainumakriteerit ja mittausajankohta	20
5 LAJITTUMINEN	25
6 TIEN POIKKIKALTEVUUS	28
7 VIITTEET	30
8 LIITTEET	31

1 JOHDANTO

Laatuvastuurakentaminen ei ole vielä saavuttanut vielä kovin suurta suosiota eri tiepiireissä. Yksi syy tähän on varmasti ollut laadunmittausmenetelmien puute sekä se, ettei laatukriteereistä ja niiden käytön eduista ole ollut riittävästi tietoutta. Oikeiden laadunmittausmenetelmien valinta sekä sopivien raja-arvojen määrittäminen on ensiarvoisen tärkeää, jotta voitaisiin päästä entistä parempiin ja taloudellisiin päällysteratkaisuihin.

Vuonna 1993 tielaitoksen kehittämiskeskus tilasi VTT:ltä laatukriteeritutkimuksen, jossa selvitettiin alustavasti sopivia laatukriteerejä /1/. Vuoden 1994 "Laatukriteerien määrittäminen laatuvastuurakentamista varten"-tutkimus on jatkoa tälle tutkimukselle. Tutkimuksen tavoitteena oli määrittää tutkimustuloksiin ja kokemuksiin perustuen ne arvot, joiden perusteella laadunarvostelua tehdään. Tutkimukseen liittyi myös joidenkin tutkimusten toteutukseen liittyviä selvityksiä.

Laadunarvostelutietoja kerättiin laatuvastuu-urakoista, joissa oli käytetty laadunarvosteluperusteena alku-uraa, SRK-kulumaa tai jaksollista virumiskoetta. Mukaan otettiin aineistoa LVR-urakoista, jotka oli tehty vuosina 1993 tai 1994. Tätä aikaisemmista urakoista peräisin olevaa aineistoa ei katsottu tarpeelliseksi kerätä, koska SRK- ja PTM-laitteisiin on tehty tämän jälkeen joitain tarkkuuteen vaikuttavia teknisiä muutoksia.

2 KULUMISKESTÄVYYS

2.1 Tieltä porattujen kappaleiden testaaminen SRK-laitteessa

Kulumiskestävyysmittaamiseen käytetty SRK-laite soveltuu erinomaisen hyvin laboratorioissa valmistettujen, vakiokorkuisten koekappaleiden testaamiseen. Laboratorioissa päällystelaatan paksuus voidaan säätää halutuksi ja siten koekappaleen koko ei ole ongelma. Tieltä päällystenäytteitä porattaessa tilanne saattaa olla aivan toinen. Ongelmia syntyy erityisesti tilanteissa, joissa tutkittavan päällystelaatan paksuus on hyvin pieni. Käytännössä SRK-koekappaleen korkeuden tulee olla vähintään 45 mm. SRK-laitteen nastarenkaat kuluttavat noin 31-32 mm leveää uraa. Jos koekappale on alle 45 mm korkea, jää molemmille puolille uraa alle 6 mm levyinen reuna-alue ja reunan lohkeamisriski kasvaa merkittävästi. Lohkeaminen tarkoittaa käytännössä sitä, että koe on epäonnistunut. Koekappaleen korkeuden ollessa vähintään 45 mm, havaittu koekappaleiden lohkeilu normaaleilla asfalttimassoilla on ollut vähäistä.

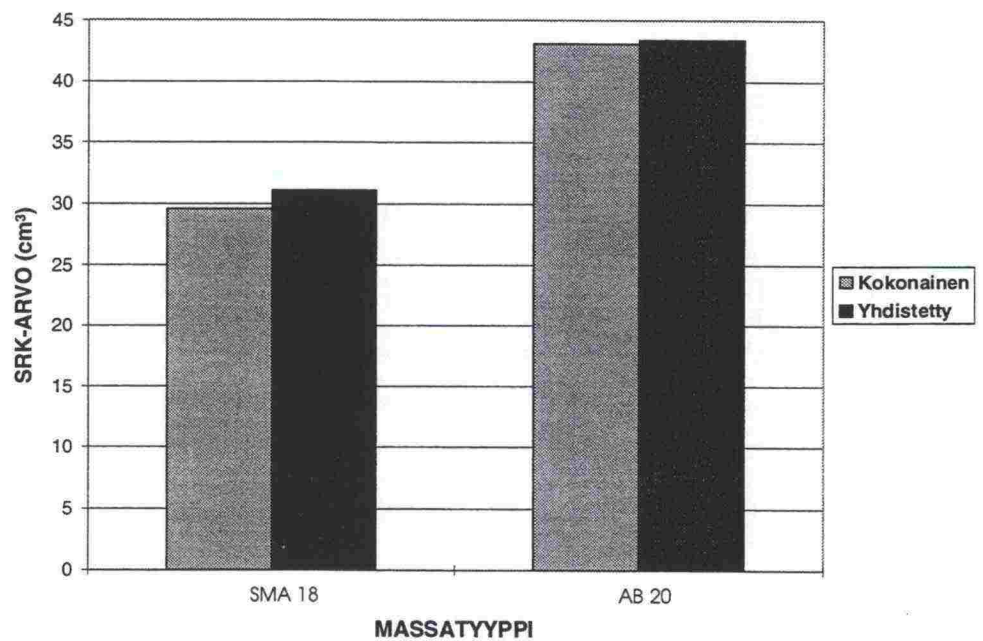
Koska kaikista päällysteistä ei ole mahdollista porata koekappaleita, joiden korkeus olisi vähintään 45 mm, pyrittiin selvittämään koekappaleiden yhdistämisen vaikutusta kulumistulokseen. Tätä tarkoitusta varten tehtiin SRK-tutkimukset Koskenkylän kivistä valmistetusta SMA 18-massasta ja Teiskon kivistä valmistetusta AB 20-massasta. Näin saatiin selville massatyyppien vaikutus tulokseen. Tutkimuksessa käytettiin standardioloja (+5°C/märkä).

Kummastakin massasta valmistettiin koekappaleet tiivistämällä ne keinujärjellä laatoiksi, joista näytteet porattiin. Osa koekappaleista (korkeus noin 60 mm) otettiin testattavaksi sellaisenaan. Loput koekappaleista sahattiin 30 mm korkuisiksi ja yhdistettiin keskenään 60 mm korkuisiksi koekappaleiksi. Yhdistämiseen käytettiin kaksikomponenttiliimaa, jota annosteltiin vain liimautumiseen tarvittava määrä. Kappaleiden välistä pois pursunut liima poistettiin välittömästi.

Yhdistettävät koekappaleet valittiin siten, että niiden tiheydet vastasivat toisiaan. Vaikka tiheydet laatoissa vaihtelivat melko vähän, haluttiin tämänkin muuttaja saada tuloksissa hallintaan. Yhdistetyt koekappaleet testattiin niin, että saumakohta tuli kulutusuran keskelle. Kootut tutkimustulokset ovat taulukossa 1. Kuvassa 1 on tarkasteltu tuloksia kuvan muodossa.

Taulukko 1. Kokonaisten ja yhdistettyjen koekappaleiden kootut SRK-tulokset ja tiheydet SMA 18- ja AB 20-massoilla.

Massatyyppi, koekappale	Tiheys, ka (kg/m ³)	SRK-arvo, ka (cm ³)	Keskihajonta (cm ³)
SMA 18, kokonainen, 6 toistoa	2383	29,6	2,4
SMA 18, yhdistetty, 6 toistoa	2376	31,1	2,8
AB 20, kokonainen, 4 toistoa	2423	43,1	3,3
AB 20, yhdistetty, 4 toistoa	2422	43,4	0,5



Kuva 1. Yhdistettyjen ja kokonaisten koekappaleiden SRK-tulosten vertailu SMA 18- ja AB 20-massoilla.

Tulosten perusteella voidaan sanoa, että koekappaleiden yhdistäminen ei vaikuta merkittävästi SRK-kuluman arvoon. Molemmissa tapauksissa yhdistettyjen koekappaleiden SRK-arvo on kokonaisten koekappaleiden SRK-arvoa hieman huonompi. Jos tarkastellaan tulosten keskihajontaa, ei yhdistäminen vaikuttanut negatiivisesti saatuihin tuloksiin. Aineistoille tehtiin myös t-testit, joiden perusteella eri koekappaleiden tulosten ero 90 % luottamusväillä tarkasteltuna ei ole merkittävä kummallakaan asfalttimassalla. Kokonaisille koekappaleille määritettyjä luottamusvälejä voidaan siis soveltaa hyvin myös yhdistetyille koekappaleille. Tässä on kuitenkin tärkeää muistaa, että tämä koemenettely edellyttää erityisen huolellista suoritusta.

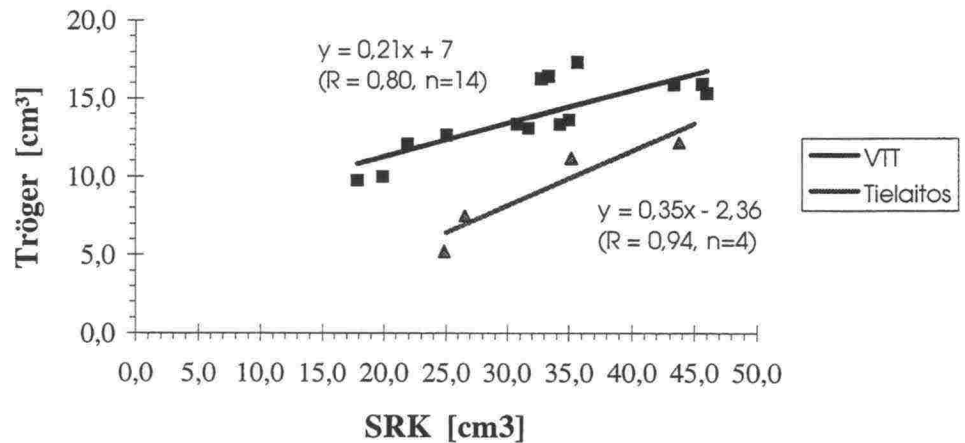
2.2 SRK- ja Tröger-laitteen tulosten yhteys

Ohuiden päällysteiden kulumiskestävyyden testaaminen SRK-laitteella on joissain tapauksissa mahdotonta. Päällysteillä, joista on mahdollista sahata n. 2,5-3 cm paksuja koekappaleita, ongelma on ratkaistavissa yhdistämällä kaksi koekappaletta toisiinsa. Tätä ohuemmillä päällysteillä kulutuskokeessa voidaan käyttää Tröger-neulaiskulaitetta, jossa kulutus tapahtuu koekappaleen päältä. Toinen mahdollinen ohuiden päällysteiden kulutuskestävyyden mittaamiseen soveltuva laite on Prall. Suomessa ei kuitenkaan vielä ole kyseistä testauslaitetta.

Jotta Tröger-laitteen tulosten perusteella voitaisiin vetää johtopäätöksiä päällysteen kulutuskestävyydestä, selvitettiin Tröger- ja SRK- kulumistulosten välistä yhteyttä. VTT:llä testattiin porakoe-kappaleista ensin kulumisen Tröger-laitteessa kappaleen molemmista päistä menetelmän TIE 438 mukaisesti. Tämän jälkeen testattiin samat koekappaleet SRK-laitteessa. Kuvasta 2 ilmenee tulosten perusteella saatu yhteys. Samaan kuvaan on lisätty myös J. Heikkilän tielaitoksen sisäisessä raportissa /2/ tielaitoksen geokeskuksessa saama yhteys kyseisten laitteiden välille. VTT:n saamasta tuloksesta poikkeava yhteys selittyy sillä, että VTT:llä kastellaan menetelmäkuvausten mukaisesti koekappaletta koko kokeen ajan. Tielaitoksen geokeskus oli sen sijaan säilyttänyt koekappaleita 18 tuntia +1°C vedessä ennen kokeita: kokeen aikana koekappaleen pintaa ei oltu kasteltu. Trögerille voidaan VTT:n tulosten mukaan antaa seuraavat SRK-tuloksia vastaavat kulumisluokat:

Luokka	Tröger-kulutuskokeen tulos (cm ³)
I	< 12,5
II	< 14,5
III	< 16,5

Luokalle IV ei ole annettu arvoa, koska tutkimustuloksia kyseisestä kulumisluokasta ei ollut. Arvot on annettu olettaen, että yhteys on lineaarinen. Lisäksi on muistettava, että nämä ohjeelliset arvot on määritetty VTT:n Tröger-laitteelle, kun toimitaan menetelmän TIE 438 mukaisesti.



Kuva 2. VTT:n ja tielaitoksen geokeskuksen mittaustulosten perusteella saadut yhteydet SRK- ja Tröger-mittaustulosten välille.

2.3 SRK-tulokset laatukriteerinä

Vuonna 1993 määritettiin SRK-laitteelle arvot, joiden perusteella laadunarvostelua tulisi tehdä /1/. Tämän tutkimuksen yksi lähtökohta oli, että todellisia laadunarvostelussa käytettyjä mittaustuloksia verrataan näihin laatukriteereihin ja tarkistetaan arvojen oikeellisuus. Laatuvastuurakentamisessa SRK-laitteen käyttö ei kuitenkaan ole valitettavasti yleistynyt, joten mittausdataa oli erittäin vähän saatavilla. Vuosina 1993-94 oli tehty kaksi laatuvastuu-urakkaa, joissa SRK-tulokset olivat yhtenä arvosteluperusteena. Toinen näistä oli Oulun tiepiirissä tehty urakka XIA/1993 ja toinen Lapin tiepiirissä tehty urakka XIIIC/1993. Molemmissa urakoissa oli asetettu SRK-kestävyyskriteerejä eri päällystetyypeille. Taulukkoon 2 on koottu kummasakin urakassa asetetut laatukriteerit sekä saadut tutkimustulokset porausnäytteistä. Vaatimukset poikkeavat VTT:n tutkimuksessa 1993 määrittämistä raja-arvoista urakan XIIIC osalta. Urakassa XIA on noudatettu VTT:n tutkimusta vastaavia laatuvaatimuksia.

Taulukko 2. Kulumiskestävyysvaatimukset XIA/1993 ja XIIIC/1993 -urakoissa sekä mitatut SRK-arvot (cm³).

Urakka	Massa	Kulumiskestävyysvaatimus	Mitattu, ka	Mitattu, kh
XIA / 1993	SMA 18	ka 31 ± 3	29,6	1,9
	SMA 18	ka 38 ± 4	34,9	3,5
	AB 18	ka 38 ± 4	41,4	2,1
XIIIC / 1993	SMA 18	ka 30 ± 1 (30 ± 3)	41,9	3,1
	AB 18	ka 50 ± 1 (50 ± 5)	48,8	3,4

Taulukon 2 kulumiskestävyysvaatimuksiin on merkitty urakan XIIIC osalta sulkuihin vuonna 1993 tehdyssä tutkimuksessa laadittujen ohjeiden mukaiset laatuvaatimukset. Kun tarkastellaan annettuja laatuvaatimuksia vuonna 1993 laaditun ohjeen mukaisesti ainoastaan urakan XIIIC SMA 18 ei täytä asetettuja laatuvaatimuksia. Toisaalta yhdessäkään tapauksessa ei ole aihetta maksaa bonuksia. Tulosten hajonnasta voidaan todeta, että ainoastaan Oulun tiepiirin urakan heikomman SMA:n tulosten keskiarvoa jouduttaisiin korottamaan 5 % eli 36,6 cm³:iin (hajonta on 10 % tulosten keskiarvosta, liite 1). Se ei kuitenkaan johda vaatimusrajan ylittymiseen. Kaikissa tapauksissa oli testattu enemmän kuin 8 koekappaletta, joten tulosten tarkkuus on riittävä.

Tarkastellun pienehkön aineiston perusteella vuonna 1993 laadittuja raja-arvoja (liite 1) voidaan hyvinkin noudattaa. Lisäksi on syytä muistaa, että kulumiskestävyyskriteerit on asetettava kohteen luonne ja mahdollisesti käytettävissä olevat materiaalit ja massatyypit huomioon ottaen järkevälle tasolle.

3 DEFORMAATIOKESTÄVYYS

3.1 Deformaation mittaus tieltä otetuista näytteistä

Deformaatiokestävyyden testaus on tähän mennessä ollut päällysteen suunnitteluvaiheessa käytetty koestusmenetelmä. Laboratoriossa päällysteen deformaatiokestävyyttä voidaan tutkia pyöräurituskokeella laboratoriossa tai kentällä muottiin tiivistetystä laatasta. Toinen mahdollisuus on tutkia deformaatiokestävyyttä jaksollisella virumiskokeella.

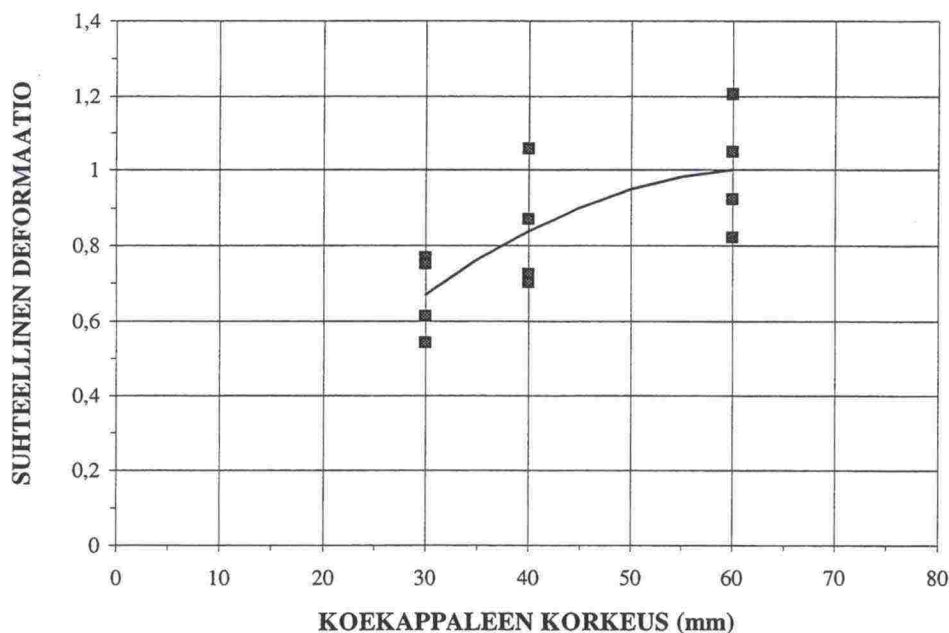
Toisin kuin pyöräurituskokeessa, jaksollisessa virumiskokeessa on mahdollista testata sekä laboratoriossa valmistettuja että tieltä porattuja koekappaleita. Tutkimusmenetelmä (TIE 440) edellyttää kuitenkin, että päistään sahatun koekappaleen korkeus on 60 mm. Käytännössä tämä merkitsee sitä, että tieltä otetuista näytteistä koekappale on yleensä tehtävä yhdistämällä.

3.2 Koekappaleen paksuuden vaikutus deformaatioon

Jotta tieltä porattujen näytteiden deformaatiokestävyys voitaisiin selvittää, VTT:llä tutkittiin koekappaleen korkeuden vaikutusta virumiskoetulokseen sekä koekappaleiden yhdistämisen vaikutusta normaaliin kokeeseen verrattuna. Koekappaleen korkeuden vaikutusta selvitettiin tutkimalla 30, 40 ja 60 mm korkeilla koekappaleilla saatavia deformaatiotuloksia SMA 18-massalla.

Toivottava lopputulos olisi ollut, että suhteellinen deformaatio eri korkuisilla koekappaleilla olisi sama. Tulokset osoittavat kuitenkin selvästi, että deformaatioarvo pienenee mentäessä ohuempiin näytteisiin. Siihen vaikuttaa voimakkaasti myös massan maksimiraekoko. Vaikka kuvassa 3 on esitetty SMA 18-massasta saatujen koetulosten perusteella kuvaaja suhteellisesta deformaatiosta korkeuden funktiona, sitä ei voida sellaisenaan käyttää matalampien koekappaleiden tulosten korjaamiseen 60 mm näytettä vastaaviksi. Korjauskerroin pitäisi käytännössä selvittää massakohtaisesti.

Periaatteessa tieltä otettava näyte tulisi testata sen paksuisena kuin se sinne levitetään, jotta päällysteen todellinen deformaatioalttius saataisiin selville. Testattavan porausnäytteen korkeus on kuitenkin sahauksen vuoksi aina pienempi kuin todellinen paksuus. 30 mm korkeus on käytännössä koekappaleen ehdoton minimikorkeus. Tutkimusmenetelmää tulisi tässä mielessä kehittää edelleen siten, että olisi mahdollista testata näytteitä, jotka on sahattu irti alustastaan pintapuolen jäädessä todellisen mukaiseksi. Toinen kehitysvaihtoehto on, että sahatun koekappaleen korkeudeksi määrätään tietty prosenttiosuus päällystelaatan paksuudesta.



Kuva 3. Suhteellinen deformaatio jaksollisessa virumiskokeessa käytettäessä eri korkuisia koekappaleita (massana SMA 18).

3.3 Koekappaleiden yhdistämisen vaikutus deformaatioon

Koska matalia näytteitä tutkimalla ei saada asfalttinormeissa määritettyjä raja-arvoja vastaavia arvoja, tutkittiin myös mahdollisuutta yhdistää kaksi ohutta 30 mm näytettä 60 mm näytteeksi. Laboratoriossa valmistetuista laatoista poratuista näytteistä sahattiin 30 mm näytteitä, joista osa yhdistettiin kipsillä ja osassa ei käytetty mitään väliainetta. Kipsin määrä pyrittiin pitämään kussakin koekappaleessa mahdollisimman samansuuruisena. Tutkimuksessa selvitettiin samaa kiviainesta käyttäen sekä AB 20- että SMA 18-massan deformaatio-ominaisuudet kyseisellä tavalla. Yhdistettyjen näytteiden ja kokonaisten koekappaleiden mittaustuloksia verrattiin toisiinsa. Taulukkoon 3 on koottu saadut tutkimustulokset. Liitteessä 2 ovat eri koekappaleilla saadut deformaatiokokeiden muodonmuutoskuvaajat.

Taulukko 3. Yhdistämisen vaikutus jaksollisen virumiskokeen tulokseen; tutkimustulokset.

Massatyyppi	Yhdistämistapa	Deformaatio, ka(%)	Deformaatio, kh(%)
SMA 18	Kokonainen	2,5	0,2
	Kipsi väliaineena	2,5	0,3
	Ei väliainetta	2,5	0,3
AB 20	Kokonainen	3,0	0,4
	Kipsi väliaineena	3,1	0,5
	Ei väliaineita	2,6	0,8

Saatujen tulosten mukaan yhdistämistapa ei vaikuttanut SMA-massan deformaatiotulokseen. Sen sijaan AB-massan tuloksista on havaittavissa, ettei ilman väliainetta tutkittujen koekappaleiden tulos vastaa kokonaisesta koekappaleesta saatua tulosta. Yhdistetyillä koekappaleilla saaduilla tuloksilla on hieman suurempi hajonta kuin kokonaisista saaduilla. Näiden tulosten perusteella ohuiden koekappaleiden testaaminen on mahdollista käytettäessä kipsiä väliaineena. Tämä on ainut tällä hetkellä käytettävissä oleva menetelmä päällysteen deformaatiokestävyyden mittaamiseen välittömästi päällystyksen jälkeen.

3.4 Deformaatiokestävyydelle asetettavat laatukriteerit

Deformaatiomittauksia ei valitettavasti ole toistaiseksi käytetty LVR-urakoissa, joten annettujen laatukriteerien /1/ tarkistusta niiden osalta ei voitu tehdä. Liitteessä 3 on esitetty vuonna 1993 annetut arvostelun raja-arvot deformaatioluokittain.

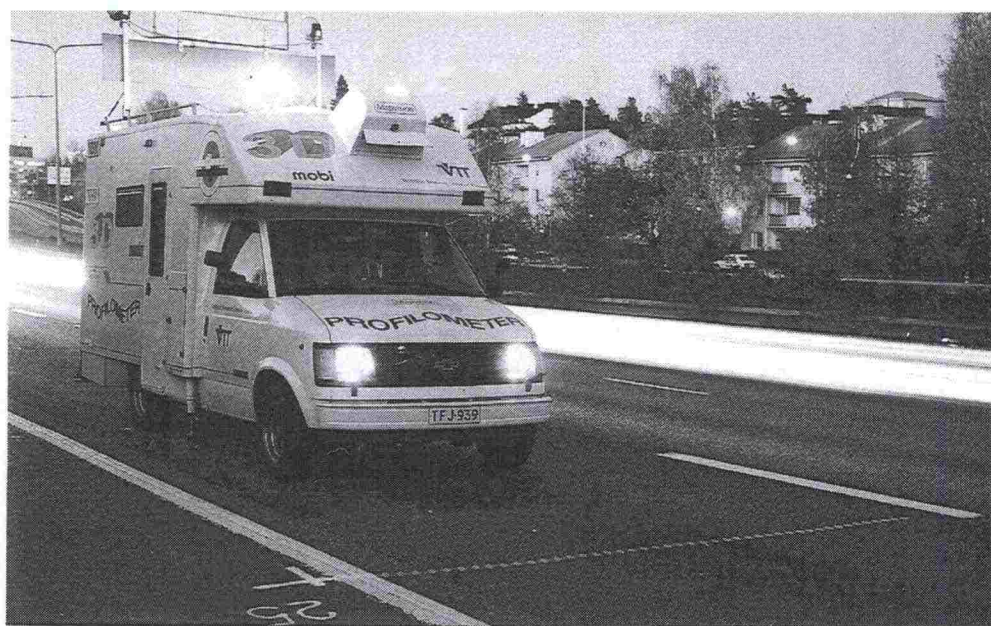
4 ALKU-URAMITTAUKSET

4.1 Tutkimusmenetelmät

Alkutiivistymisen mittaamismenetelminä tulevat kyseeseen PTM (PalveluTasoMittari), Mapvision-auto sekä paksuusprofilometri. PTM on tielaitoksen tällä hetkellä käyttämä alku-uran mittausmenetelmä, jonka suuri etu on jatkuvan mittausdatan saanti. Mapvision-autoa ei toistaiseksi ole käytetty alkutiivistymismittausten kaltaisiin rutiininomaisiin töihin. Paksuusprofilometri soveltuisi myös Mapvision-auton tavoin alku-uramittauksiin, mutta työläämpänä menetelmänä sen käyttö rajoittuu käytännössä suppeampiin tutkimuskohteisiin.

PTM on Suomessa jo varsin tunnettu päällysteiden mittausmenetelmä, joka perustuu autoon kiinnitetyssä palkissa oleviin ultraääniantureihin. PTM:lla tien urasyvyyydet määritetään siten, että 2 m välein luetuista anturituloksista määritetään reuna- ja keskiuran syvyudet. Suurempi näistä merkitään poikkileikkauksen urasyvyudeksi. Näistä tuloksista lasketaan 10 m urasyvyysarvo siten, että pienin ja suurin mitattu 2 m urasyvyysarvo poistetaan ja jäljelle jääneistä (3) 2 m urasyvyyksistä lasketaan keskiarvo. Näin parannetaan tuloksen tarkkuutta. Varsinaisena arvostelukriteerinä oleva 100 m urasyvyysarvo lasketaan 10 m urasyvyyksien keskiarvona. Koko tien urasyvyys voidaan määrittää näiden 100 m urasyvyyksien keskiarvona. Laitteen mittaustarkkuus on $\pm 1\text{--}2$ mm luokkaa.

Mapvision-auto (kuva 4) perustuu kokonaan erilaiseen tekniikkaan kuin PTM. Auto pysäytetään mitattavan profiilin kohdalle. Auton ohjaamon yläpuolella on kolme kameraa sijoitettuna auton vasempaan ja oikeaan laitaan sekä keskelle. Ohjaamon yläpuolella keskellä on myös laser, joka suuntaa valonsäteen tiehen. Laserin tienpintaan tuottaman pisteen koordinaatit paikannetaan kolmen kameran avulla ja tallennetaan tietokoneelle. Pisteiden sijainnit määritetään 4 m matkalta tien poikkiprofiilin suuntaisesti 2 cm välein. Urasyvyudet mitataan tietokoneen avulla yksittäin kustakin profiilista siten, että ne vastaavat 2 m oikolautamittausta. Jos samasta kohteesta on tehty mittauksia myös aikaisemmin, voidaan määrittää myös esimerkiksi poikkiprofiilista pois kuluneen päällysteen pinta-ala. Urasyvyuden osalta laitteen mittaustarkkuus on ± 1 mm.



Kuva 4. Mapvision-auto.

4.2 PTM:n ja Mapvision-auton vertailumittaukset

PTM:n ja Mapvision-auton tulosten vertaamiseksi tehtiin vertailumittauksia Uudenmaan tiepiirin alueella seuraavissa kohteissa:

- A. Vt 1 HELSINKI - TURKU; Hiidenvesi - Näckilä
* tieosa 12 väliltä 0 m - 3700 m, suunta 1
- B. Vt 2 PALOJÄRVI - PORI; Nummela - Aromäki
* tieosa 2 väli 106 m - 2180 m
sekä tieosa 3, (3030 m), suunta 1
- C. Vt 3 HELSINKI - TAMPERE
* tieosa 101 väliltä 3026 m - 8726 m, suunta 1
- D. Vt 3 HELSINKI - TAMPERE; Karhunkorpi - Hämeen piirin raja
* tieosa 107 (5886 m), suunta 1
- E. Vt 7 HELSINKI - VAALIMAA
* tieosa 4 (4648 m), suunta 1
- F. Kt 51 HELSINKI - KARJAA
* tieosa 16 (5895 m), suunta 1

Kohteet oli päälystetty kesän 1994 aikana. Alku-uramittaukset tehtiin loka-kuussa sekä PTM:lla että Mapvisionilla. PTM:lla mitattiin kustakin kohteesta urasyvyudet jatkuvana mittauksena ja Mapvisionilla profiilit noin 500 m välein. Mapvisionilla tehtiin 10 profiilimittausta / kohde. PTM:lla on määritelty urasyvyudet syvemmän uran mukaan. Mapvisionissa urasyvyudet on laskettu reuna- ja keskiuran keskiarvona. Mittausten keskiarvot ja keskihajonnat kohteittain on esitetty taulukossa 4.

Taulukko 4. PTM:n ja Mapvisionin urasyvyyden (mm) vertailumittausten tulokset.

Mittauskohde	Mapvision ka / kh	PTM 100 m ka / kh
A	+7,5 / 1,6	+7,6 / 1,4
B	+2,4 / 0,5	+0,7 / 1,5
C	+3,8 / 0,9	+3,6 / 1,1
D	+4,0 / 0,9	+4,5 / 1,2
E	+3,7 / 0,8	+3,1 / 1,2
F	+2,6 / 0,6	+3,3 / 0,8

Mittaustulokset taulukossa 4 vastaavat melko hyvin toisiaan kohdetta B lukuunottamatta. Ongelmana PTM:n alku-uramittauksissa on, etteivät urat ole vielä silmin havaittavissa auton ohjaamosta. Tämä voi aiheuttaa väärän ajouran valinnan ja virheellisen tuloksen kuten kohteessa B ilmeisesti on käynyt. Mapvision pysäytetään mittauskohteeseen, jolloin se voidaan myös asettaa tarkasti oikeaan kohtaan. Mapvisionilla ei saada mitattua tien profiileja jatkuvasti kuten PTM:lla, joten sen käyttö edellyttää, että mittauskohdat vastaavat päällysteen keskimääräistä laatua.

Mapvisionilla saa tarkemman mittaustuloksen, mutta PTM tasoittaa tätä eroa jonkin verran suurella mittausten määrällään. Mapvisionin tulokset käsitellään erikseen tietokoneella, kun taas PTM laskee urasyvyydet automaattisesti. Kun kyse on näin pienistä urasyvyyksistä, on Mapvisionin menettely useimmiten luotettavampi. Uramuodon tulkinta saattaa PTM:ssä aiheuttaa virheitä tulokseen. Jotta PTM:llä päästäisiin vastaaviin tarkkuuksiin kuin Mapvisionilla, on tehtävä toistomittauksia. Kolme toistokertaa tuottaa jo merkittävästi paremman tuloksen.

4.3 Alkupainumakriteerit ja mittausajankohta

Alkupainumakriteerin tarkistamiseksi analysoitiin jo tehtyjen laatuvastuurakoiden alku-uramittausten tuloksia. Analysoitaviksi otettiin Oulun ja Uudenmaan tiepiireissä tehtyjä alku-uramittaustuloksia.

Oulun tiepiirin urakassa XIA/1993 mitattiin päällysteestä alkupainumia PTM:lla. Lehmisuolla asetettiin alkupainumalle +1,0 mm tavoitekeskiarvo sekä yksittäisille 100 m jaksoille +2 mm raja-arvo. Lopputuloksena oli urasyvyyden keskiarvo +2,29 mm. Lopputulos ei siis vastannut tavoitetta. Tulokset tarkistettiin profilometrillä ja todettiin, ettei tiessä ole varsinaisia uria. Näin ollen alkupainumavaatimuksista luovuttiin. Saman urakan Hoikkasuon kohteessa alkuperäinen tavoite oli saavuttaa keskimäärin enintään +3,0 mm alkupainuma. 100 m jaksoilla sallittiin +4,0 mm urat. Keskiarvovaatimus saavutettiin melko hyvin (3,08 mm), mutta yksittäisiä 100 m jaksoja,

jotka ylittivät +4,0 mm urasyvyyden, oli liikaa. Näin ollen vaatimusta lievennettiin +8,0 mm:iin.

Uudenmaan tiepiirin osalta otettiin vuonna 1994 PTM:lla tehdyt alku-uramittaukset vertailuun mukaan. Alku-uramittaukset oli useimmista koh-teista tehty kuukauden kuluessa päällystystyön valmistumisesta. Tästä ainoa poikkeus oli Vt 1:llä, jossa mittaus oli tehty vasta 2 kk valmistumisen jälkeen. Saadut mittaustulokset ja päällysteen valmistumis- ja mittausajan-kohdat eri teillä olivat taulukon 5 mukaiset.

Taulukko 5. Uudenmaan tiepiirissä vuonna 1994 PTM:lla mitatut alku-urat valta- ja kantateillä.

Tienumero	Päällystys valmis / mittausajankohta	Mittaus, ka (mm)	Mittaus, kh (mm)
Vt 1	11.5. / 5.7.	+1,3	1,7
Vt 3	25.5. / 29.5.	+5,1	1,8
Vt 7	13.6. / 29.6	+1,6	2,0
Kt 51	15.6. / 7.7.	+2,6	1,9
Kt 53	- / 13.6.	+2,3	2,0

Kun tarkastellaan taulukon 5 arvoja ja verrataan niitä 1993 /1/ annettuun raja-arvoon (+5 mm) voidaan todeta, että ainoastaan Vt 3:n alku-ura edellyttäisi arvon-alennuksia. Kyseinen raja-arvo on taulukon 5 tulosten perusteella liian korkea. Verrattaessa taulukon 5 tuloksia asfalttinormien 1995 vaatimuksiin, niin keskiarvovaatimuksen -2 - +2 mm täyttävät ainoastaan kohteet Vt 1 ja Vt 7. Negatiivisen urasyvyyden raja -2 mm on perusteltu. Vaatimuksena +2 mm yläraja on sen sijaan varsin kova. Pitäisin kyseistä ylärajaa tavoitteellisena, mutta sakotusrajana +3 mm yläraja on laitteen tarkkuus (\pm 1-2 mm) huomioon ottaen mielestäni riittävä.

Taulukko 6. Uudenmaan tiepiirissä vuonna 1994 PTM:lla mitatuista alku-urista sallitun 100 m urasyvyyden ylittävien osuuksien määrät prosentteina.

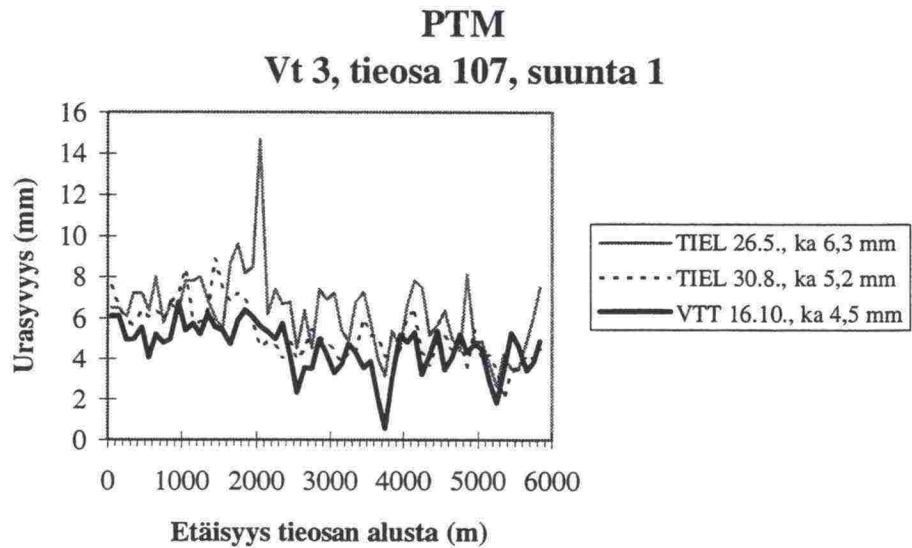
Tienumero	Sallittu 100 m maksimiurasyvyys				
	+3 mm	+4 mm	+5 mm	+6 mm	+7 mm
Vt 1	17 %	5 %	2 %	1 %	0 %
Vt 7	23 %	8 %	1 %	0 %	0 %
Kt 51	49 %	20 %	3 %	0 %	0 %
Kt 53	36 %	16 %	6 %	0 %	0 %

Jos keskiarvovaatimuksena käytettäisiin $-2 - +3$ mm, niin esimerkiksi Uudenmaan piirissä vain Vt 3:n urasyvytydet johtaisivat arvonalennuksiin. Oulun tiepiirin urakoissa molemmat kohteet täyttävät nämä vaatimukset. PTM:lla yksittäisen 100 m urasyvyyden arvostelun selvittämiseksi taulukkoon 6 on koottu Uudenmaan tiepiirissä mitatuista kohteista ylittävien yksittäisten 100 m urasyvyyksien määrä prosentteina kaikista osuuksista, kun käytetään erilaisia maksimiurasyvyyskriteerejä. Taulukkoon ei ole otettu mukaan Vt 3:n tuloksia, koska jo urasyvyyksien keskiarvo ylitti kyseiset vaatimukset.

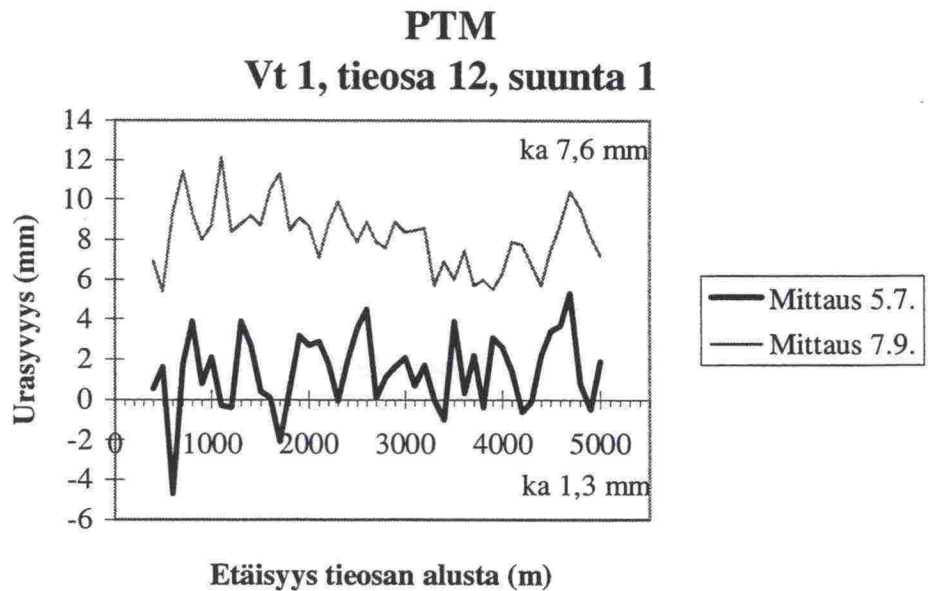
Tarkasteltaessa taulukossa 6 esitettyjä tuloksia havaitaan, että $+4$ mm:ä alhaisempi vaatimus johtaisi varsin merkittäviin arvonalennuksiin. Toisaalta taas $+6$ mm vaatimus on näiden tulosten perusteella jo varsin korkea. Taulukon 6 mukaisesti $+4$ mm vaatimus aiheuttaisi 100 m urasyvyyksistä 5 - 20 %:lla sanktioita. Käytettäessä $+5$ mm vaatimusta vastaava määrä olisi 1-6 %. Tarkasteltaessa laitteen tarkkuutta ja keskiarvovaatimuksen ylärajan ollessa $+3$ mm, niin 100 m jaksolla urasyvyyden tulisi olla alle $+5$ mm ($+3 + 2$ mm). Samalla periaatteella tarkasteltuna $+2$ mm keskiarvovaatimus edellyttää $+4$ mm ($+2 + 2$ mm) vaatimusta 100 m urasyvyydelle. Nämä vaatimukset ovat sopusoinnussa myös taulukon 6 tulosten kanssa.

Mapvisionilla voidaan noudattaa samoja alkupainuman keskiarvovaatimuksia kuin PTM:lläkin. Yksittäisen profiilimittauksen maksimiurasyvyysarvoa on vaikea asettaa kohdalleen, koska varsinaisia alku-uramittauksia ei Mapvisionilla ole tehty. Koska kyseisen laitteen mittaustarkkuus (± 1 mm) on parempi, voidaan yksittäisen profiilin maksimiurasyvyudeksi antaa $+4$ mm, kun keskiarvovaatimus on alle $+3$ mm.

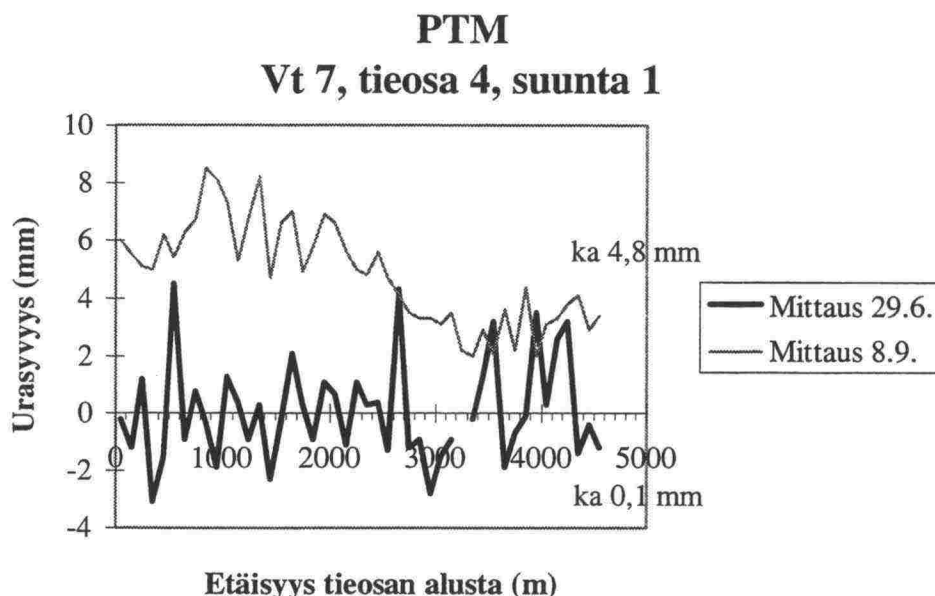
Alku-uran mittausajankohtaa voidaan arvioida Uudenmaan tiepiirissä tehtyjen PTM-mittausten perusteella. Samoista kohteista, joista oli tehty kesällä alku-uramittaukset, tehtiin syksyllä kuntomittaukset. Vertaamalla näitä arvoja voidaan arvioida sopivaa mittausajankohtaa. Kuten voidaan havaita, urasyvyyksien muutokset kesän jälkeen vaihtelevat hyvinkin paljon. Jos tarkastellaan esimerkiksi Vt 3:n tieosaa 107 (kuva 5), niin urasyvytydet eivät ole kasvaneet kesän aikana. Kyseessä on SMA 18-päällyste, joka on ilmeisesti tiivistynyt raskaan liikenteen alla heti päällystysten jälkeen. Syksyä kohti mentäessä karkea pinta on tasoittunut liikenteen alla, jolloin mitatut urasyvytydet ovat pienentyneet (suunta 1: 6,3 mm/5,2 mm/4,5 mm). Deformaation osuus on SMA:lla erittäin pieni. Toista ääripäätä edustaa Vt 1:n tieosa 12 (kuva 6), jolla kesällä mitattu urasyvyys on alhainen (ka 1,3 mm). Syksyllä mitatut urasyvytydet ovat kuitenkin erittäin suuret (ka 7,6 mm). Päällysteenä on AB 20, jonka alkutiivistyminen on ollut vähäistä. Deformaatioherkkään massa on kuitenkin kuumien kesän aikana muodostunut syvät urat. Sama ilmiö on havaittavissa Vt 7:llä (kuva 7), jossa on käytetty EA 20-massaa (urat tieosa 4:llä 0,1 mm / 4,8 mm). Liitteessä 4 on esitetty tulokset muista vertailluista tieosista.



Kuva 5. Vt 3/107:n urasyvyyden mittaustulokset: tielaitoksen mittaukset kesällä ja alkusyksystä sekä VTT:n mittaus myöhemmin syksyllä.



Kuva 6. Vt 1/12:n urasyvyyden mittaustulokset: tielaitoksen mittaukset kesällä ja alkusyksystä.



Kuva 7. Vt 7/4:n urasyvyyden mittau tulokset: tielaitoksen mittaukset kesällä ja alkusyksystä.

Uusissa vuoden 1995 asfalttinormeissa alku-uran mittaushetki on 3-6 viikkoa päällystystyön päättymisestä. Tällöin mitataan sitä, kuinka paljon päällyste tiivistyy liikenteen alla. Tämän jälkeen tehdyt mittaukset kuvastavat sekä päällysteen alkutiivistymistä että deformaatiokestävyyttä. Se, että näitä molempia seikkoja mitataan ei sinänsä ole ongelma. Ongelma on siinä, että erilaiset sääolot saattavat vaikuttaa hyvinkin voimakkaasti lopputulokseen. Sääoloilla on vaikutusta myös alkutiivistymiseen, mutta sen vaikutus on suurempi deformaatioon. Tästä syystä asfalttinormissa esitetty mittausajankohta on suositeltava. Deformaatiokestävyyden mittaamiseen tulisi käyttää mieluummin yhteismitallisia, ulkoisista häiriötekijöistä riippumattomia mittausmenetelmiä kuten jaksollista virumiskoetta.

5 LAJITTUMINEN

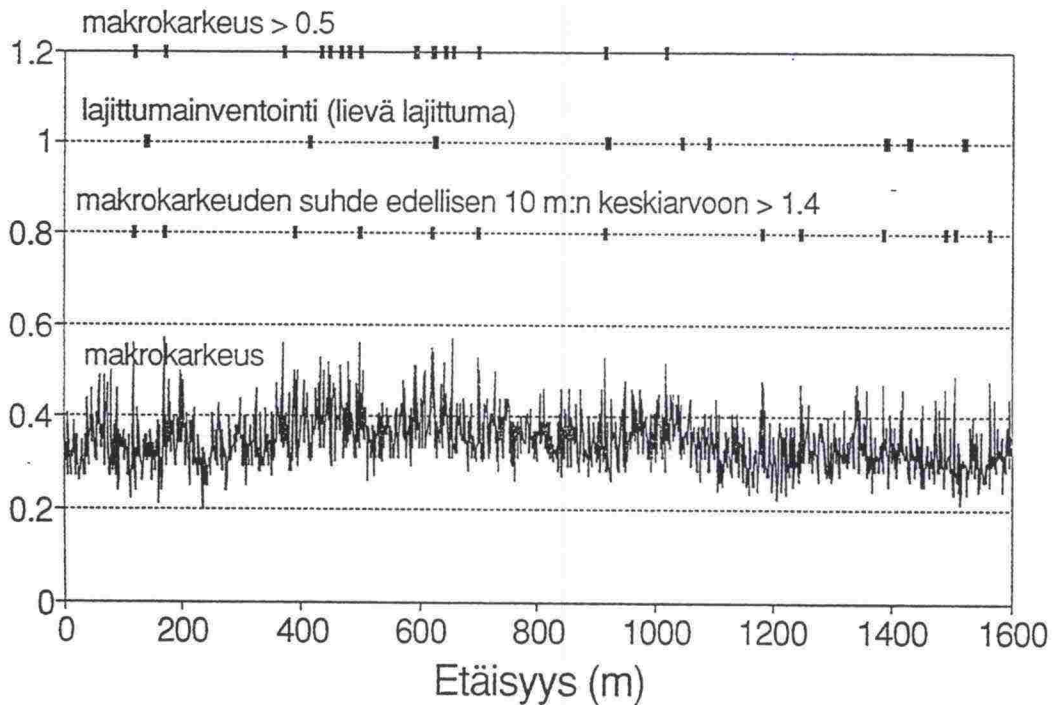
Lajittumisen mittaamista makrokarkeuden avulla selvitettiin vuoden 1994 aikana inventoimalla silmämääräisesti lajittumat viidestä kohteesta (Mt 5641/6, Mt 548/7, Mt 554/6, Mt 359/31 ja Vt 6/127). Mistään kohteesta ei löydetty silmämääräisellä inventoinnilla selviä lajittumia, ainoastaan lieviä ja erittäin lieviä lajittumia. Kohteet mitattiin tämän jälkeen PTM-auton makrokarkeusohjelmalla, joka tulostaa metrin tarkkuudella makrokarkeusarvon (100 mittausta/metri).

Lajittumakartoitusta ja PTM-mittauksia on verrattu kuvien 8 - 10 mukaisesti. Niissä y-asteikon kohdalla 1,0 on lyhyellä pystyviivalla merkitty paikka, missä on löydetty silmämääräisellä tarkastelulla lajittuma (lievä).

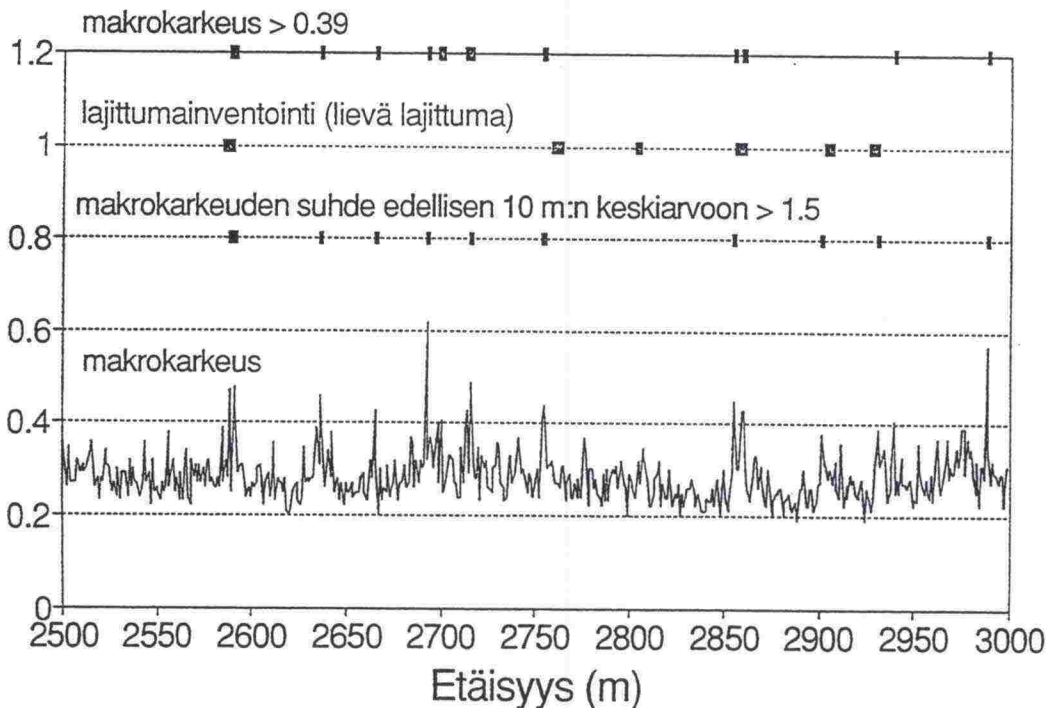
Kuvissa y-asteikon kohdalla 1,2 on merkitty paikka, missä makrokarkeuden arvo ylittää tietyn arvon (esimerkiksi kohteessa Mt 5641/6 0,39). Arvo on valittu siten, että lajittumia ja makrokarkeuden ylityksiä on suunnilleen yhtä paljon. Kuten kuvista nähdään, jotkut kohdat osuvat kohdakkain mutta useat eivät kohtaa. Tämä johtaa siihen, että koko tielle ei voida antaa suositusta lajittuman makrokarkeusarvoksi (esim. 1,3 kertaa tien keskiarvo).

Kuvissa y-asteikon kohdalla 0,8 on merkitty paikka, missä makrokarkeuden arvo ylittää tietyllä luvulla kerrottuna edellisen 10 metrin makrokarkeuden keskiarvon (esimerkiksi kohteessa Mt 5641/6 1,5). Luku on valittu siten, että lajittumia ja makrokarkeuden ylityksiä on suunnilleen yhtä paljon. Tämä menetelmä olisi käyttökelpoisempi, kuin vertaaminen koko tien makrokarkeuden keskiarvoon, mediaaniin tai vastaavaan. Kuvista nähdään, että "osumatarkkuus" on parempi, mutta ei kuitenkaan riittävän hyvä suosituksia varten.

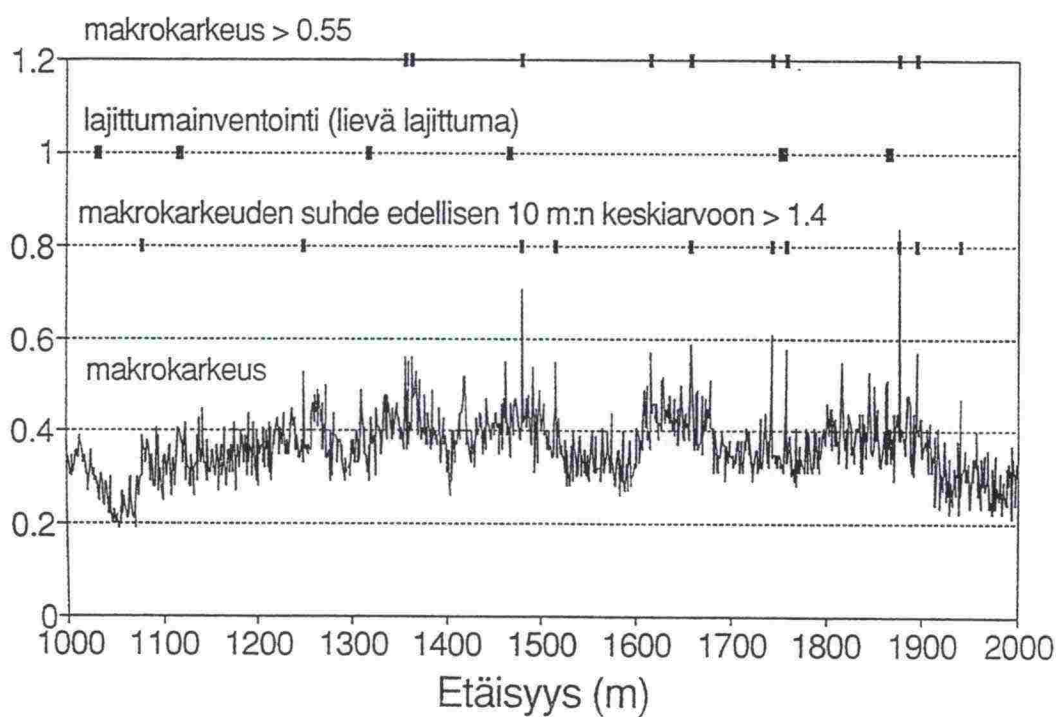
Kuvien alimpana käyränä on makrokarkeus jatkuvana käyränä. Koska yhteydet silmämääräiseen lajittuma-arviointiin eivät ole selvät, niin suosituksia lajittumien makrokarkeusrajoiksi ei voida vielä antaa.



Kuva 8. Silmämääräisen tarkastelun ja PTM-makrokarkeusmittauksen tulokset kohteessa Mt 554/6.



Kuva 9. Silmämääräisen tarkastelun ja PTM-makrokarkeusmittauksen tulokset kohteessa Mt 5641/6.

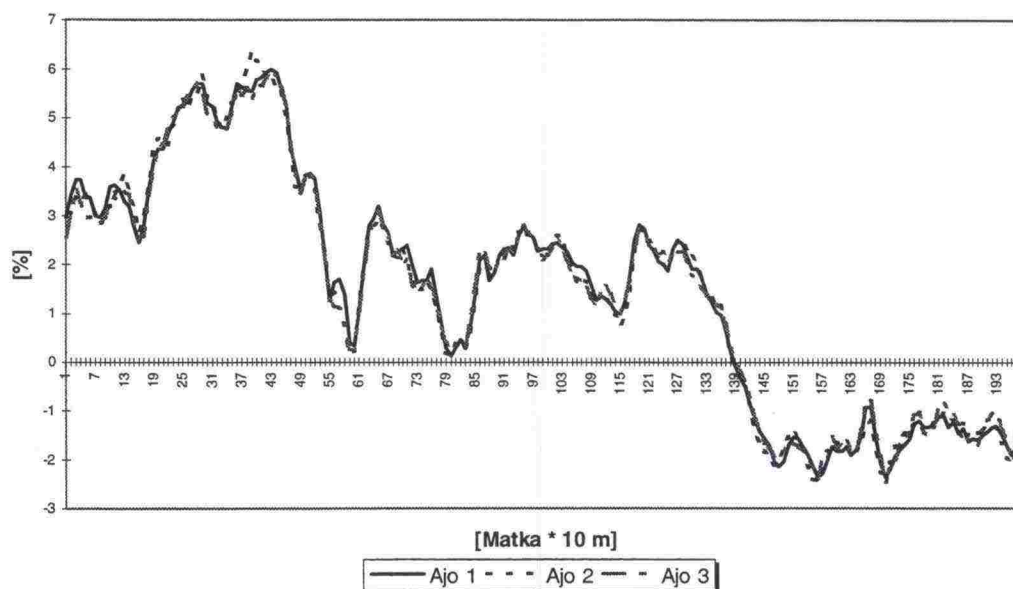


Kuva 10 Silmämääräisen tarkastelun ja PTM-makrokarkeusmittauksen tulokset kohteessa Mt 548/7.

6 TIEN POIKKIKALTEVUUS

Tien poikkikaltevuutta voidaan mitata VTT:n PTM-autolla. Mittaus tapahtuu PTM-autoon asennetulla kaltevuusmittarilla. Mittari on asennettu auton edessä olevan ultraäänimittauspalkin alle. Tien epätasaisuudesta ja tien kaarteisuudesta aiheutuvat auton korin kallistukset korjataan uramittaukseen käytettävien ultraääniantureiden avulla. Auton seistessä vaakasuoralla alustalla, sekä kaltevuusanturin että uloimpien ultraääniantureiden arvot talletetaan 0-lukemiksi. Kun autolla ajetaan mittauskohteessa, luetaan sekä kaltevuusanturin että uloimpien ultraääniantureiden lukemat ja näistä sekä talletetuista 0-lukemista lasketaan ko. kohdan poikittaiskaltevuus. Mittaus-tulos saadaan normaalimittausilanteessa 10 m välein, mutta tarvittaessa mittausaskel voidaan lyhentää 5, 2 tai jopa 1 metriin. Tavallisesti poikkikaltevuusmittaus tapahtuu normaalin KUNTO-mittauksen yhteydessä, jolloin mittausnopeus on yleensä noin 70 - 80 km/h.

Poikkikaltevuusmittauksen toistotarkkuuden selvittämiseksi PTM-autolla ajettiin toistomittauksia. Kohde oli tie 113 tieosa 01 (Kauklahdessa), jossa mitattiin 2 km osuus. Kohde on melko epätasainen (IRI luokkaa 2.2) ja siinä on melko selkeät urat (URA luokkaa 16 mm). Tiessä on noin 500 m päässä aloituspisteestä tuntuva heitto. Tien voi katsoa olevan normaalia maantietä selvästi epätasaisempi ja poikittaiskaltevuudeltaan nopeasti vaihteleva. Mitä suuremmat dynaamiset heilahtelut autoon kohdistuvat, sitä vaikeampi niiden vaikutusta on korjata. Tämä korjausalgoritmi on vielä kehitystyön alaisena, minkä vuoksi toistomittaukset ajettiin nopeudella 30 km/h. Toistoajojen tulokset ovat kuvassa 11.



Kuva 11. Poikkikaltevuusmittausten toistoajot tiellä 113.

Kuten kuvasta 11 nähdään, voidaan PTM-auton poikkikaltevuusmittauksessa päästä kunkin 10 m havainnon osalta alle 0,5 % toistohajontaan. Koska testimittauksia ei ole voitu sääolosuhteiden vuoksi suorittaa useampia ja erilaisilla teillä, varsinkaan uudella päällysteellä ja koska kallistusten korjausalgoritmi on vielä kehitystyön alla, on mahdolliset uusien päällysteiden poikkikaltevuusmittaukset syytä tehdä samalla nopeudella kuin kuvan 11 testiajotkin eli 30 - 40 km/h. Toistoajojen perusteella PTM:n sivukaltevuuden mittausominaisuudet näyttävät siis varsin lupaavilta. Ennen kuin varsinaisiin mittauksiin voidaan ryhtyä, tarvitaan kuitenkin vielä tarkistusmittauksia mahdollisten korjauskertoimien määrittämiseksi.

7 VIITTEET

1. Laatukriteerien määrittäminen laatuvastuurakentamista varten, VTT:n tutkimusselostus N:o 1355/93.
2. Heikkilä, Jorma, Tiepäälysteiden kulumisen tutkiminen laboratoriossa Tielaitoksen sisäinen raportti 23/1994. Helsinki 1994.

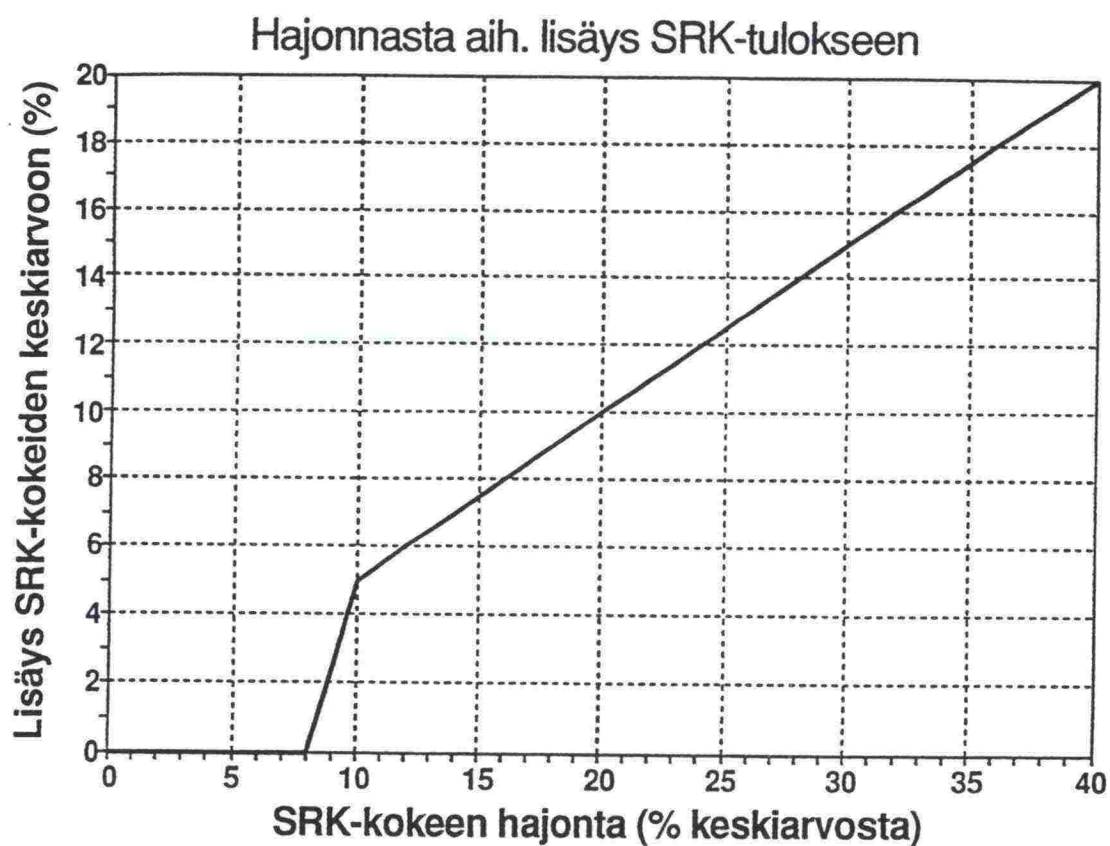
8 LIITTEET

- LIITE 1. Määritettyjen SRK-arvojen keskiarvolle annetut vaihtelurajat tavoitearvosta eri kulumisluokissa:
- LIITE 2. Eri tavoin yhdistettyjen koekappaleiden deformaatiomuodonmuutoskuvaajat, massoina SMA 18 ja AB 20.
- LIITE 3. Sallitut jaksollisen virumiskokeen tulokset (keskiarvo ja keskiahajonta) deformaatioluokittain.
- LIITE 4. Tielaitoksen Uudenmaan tiepiirissä kesällä 1994 tehtyjen alku-uramittausten sekä syksyllä 1994 samoissa kohteissa tehtyjen seurantamittausten vertailutulokset tieosittain.

Määritettyjen SRK-arvojen keskiarvolle annetut vaihtelurajat tavoitearvosta eri kulumisluokissa:

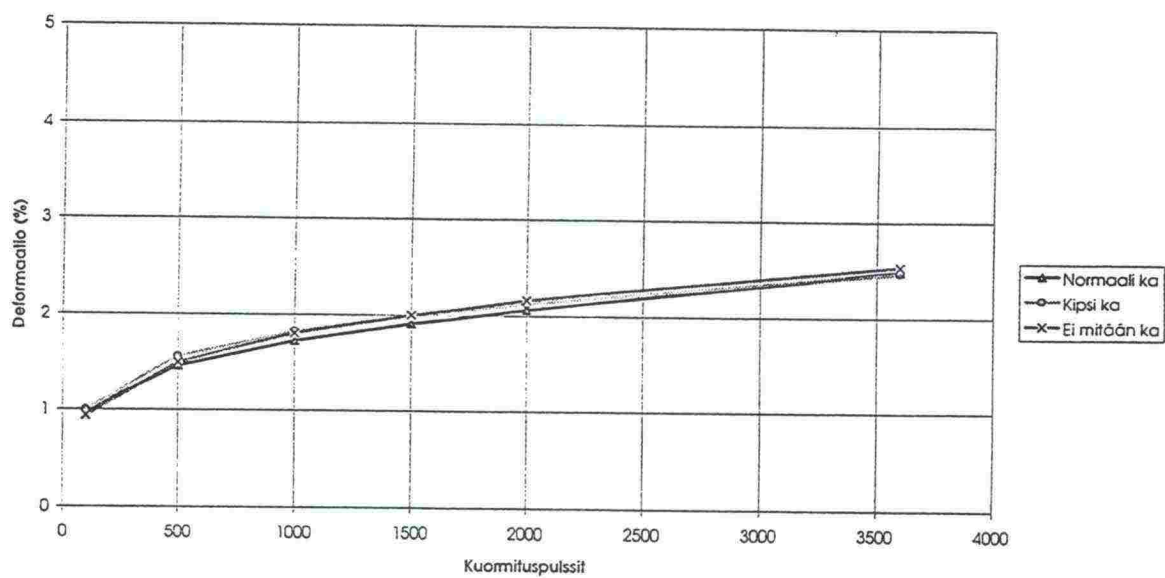
Kulumisluokka I	($\leq 25 \text{ cm}^3$)	$\pm 2 \text{ cm}^3$
Kulumisluokka II	($\leq 35 \text{ cm}^3$)	$\pm 3 \text{ cm}^3$
Kulumisluokka III	($\leq 45 \text{ cm}^3$)	$\pm 4 \text{ cm}^3$
Kulumisluokka IV	($\leq 60 \text{ cm}^3$)	$\pm 5 \text{ cm}^3$

Tulosten hajonnasta aiheutuva lisäys SRK-tulosten keskiarvoon:

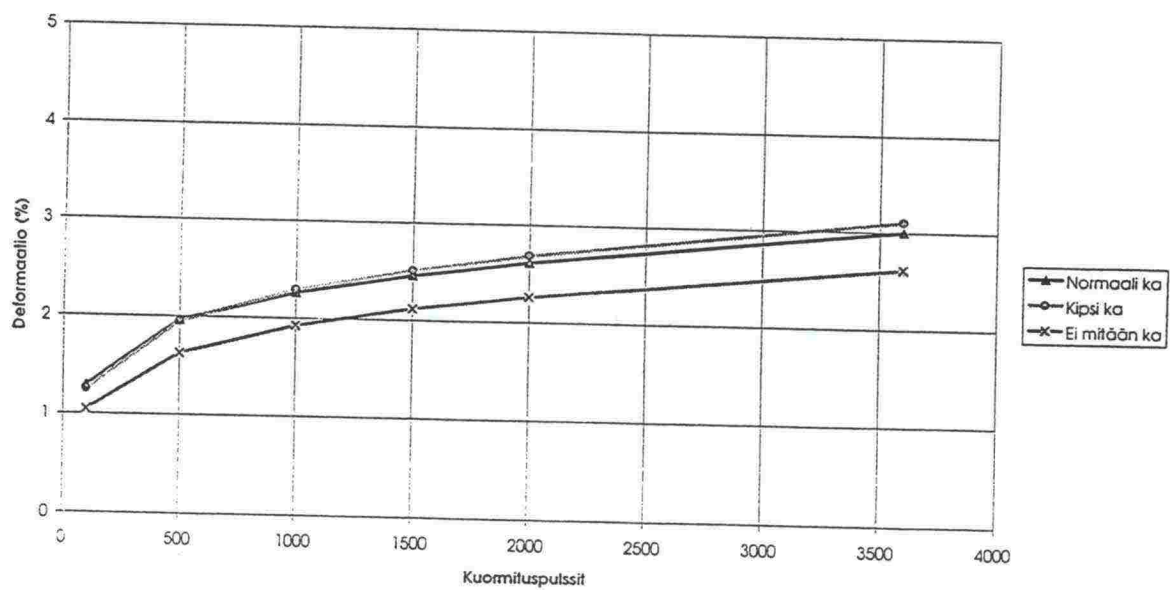


Eri tavoin yhdistettyjen koekappaleiden deformaatiomuodonmuutoskuvaajat, massoina SMA 18 ja AB 20.

SMA 18

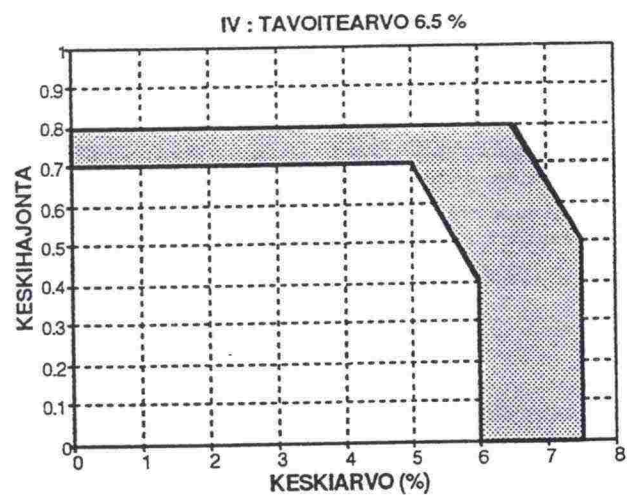
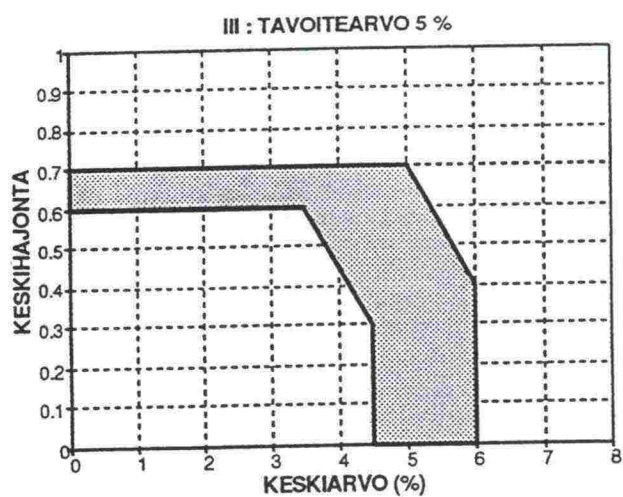
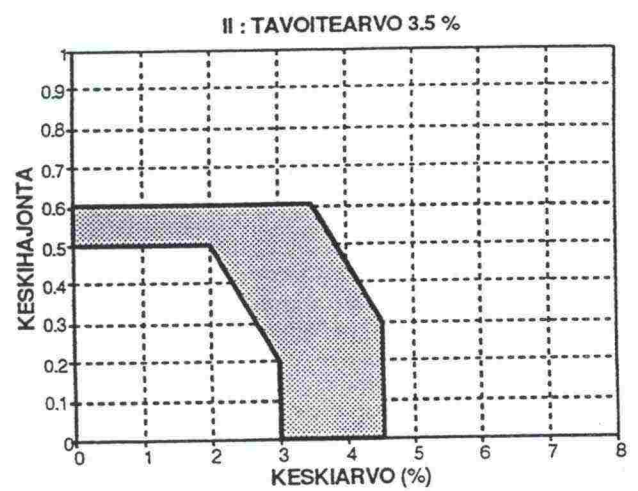
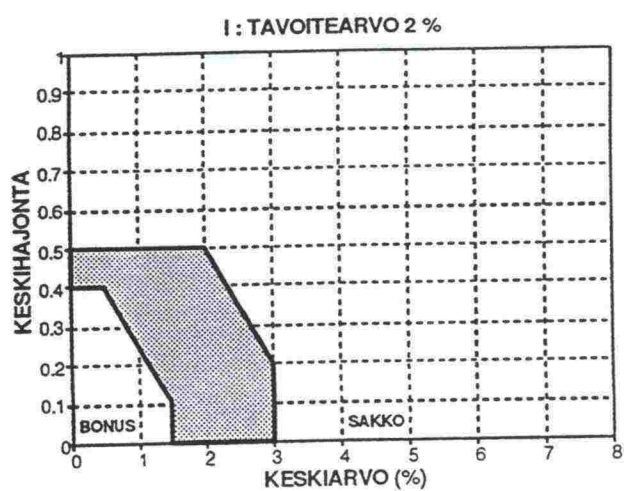


AB 20

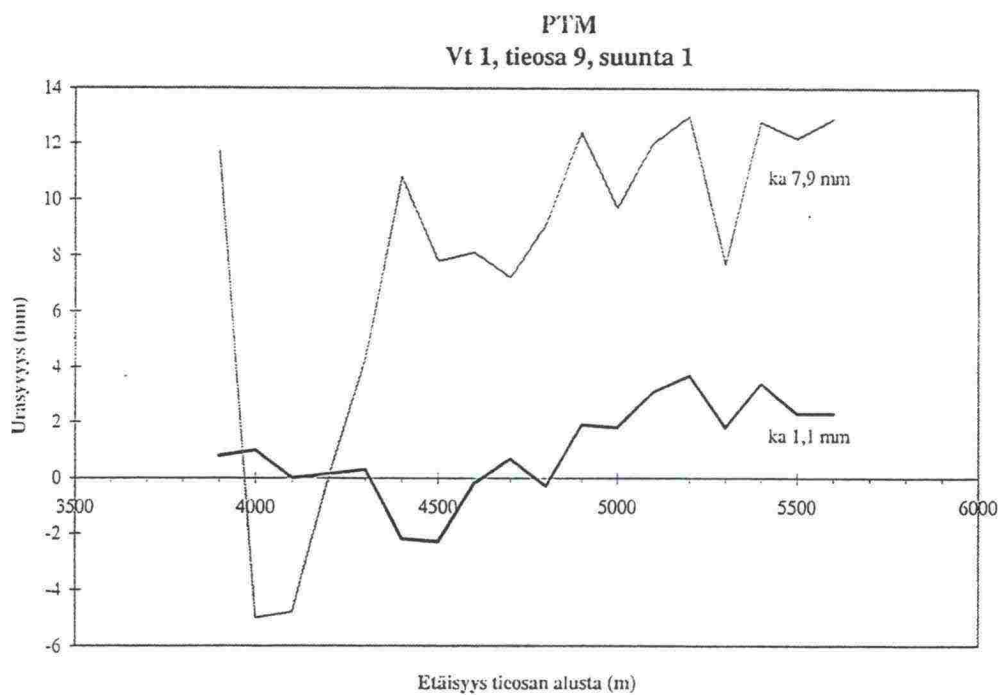
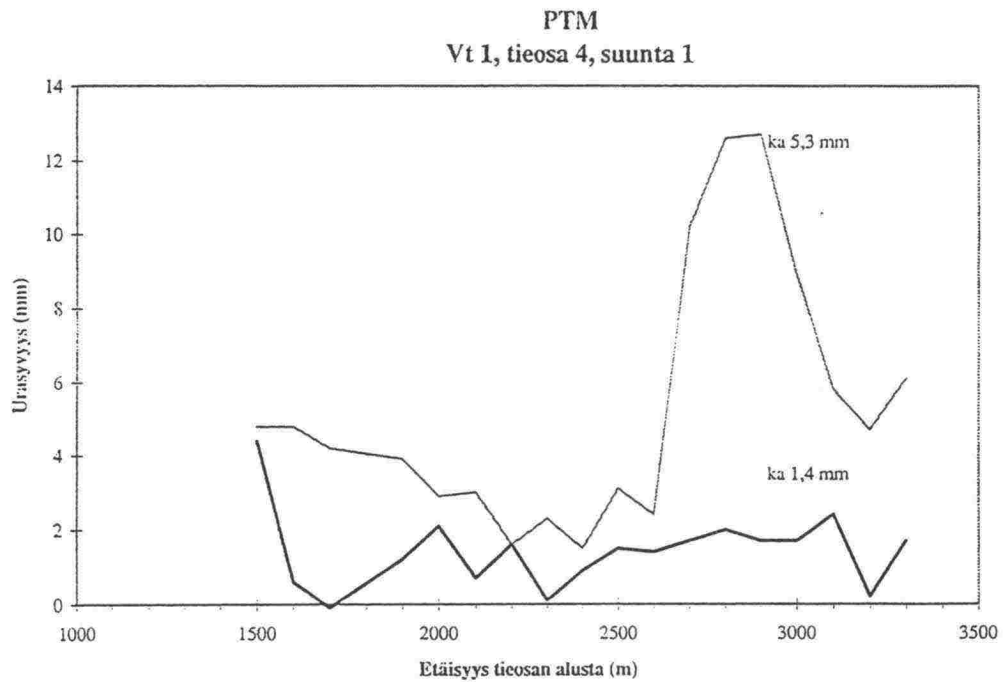


Sallitut jaksollisen virumiskokeen tulokset (keskiarvo ja keskihajonta) deformaatio-
luokittain.

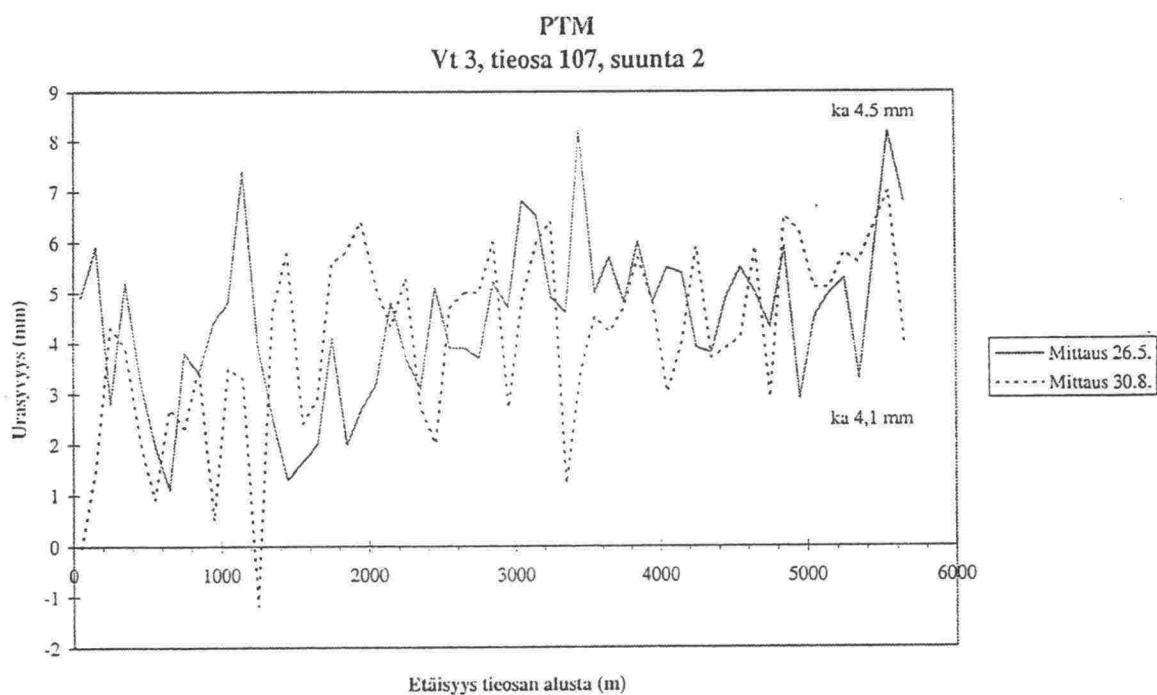
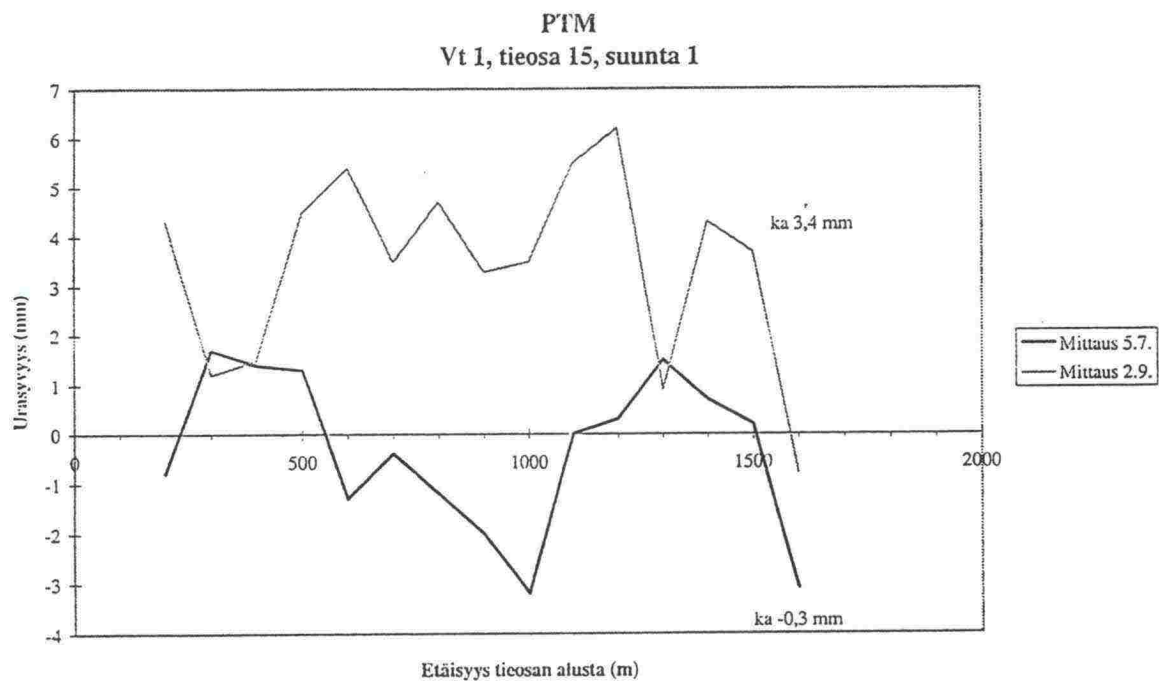
DEFORMAATIOLOUKAT I - IV



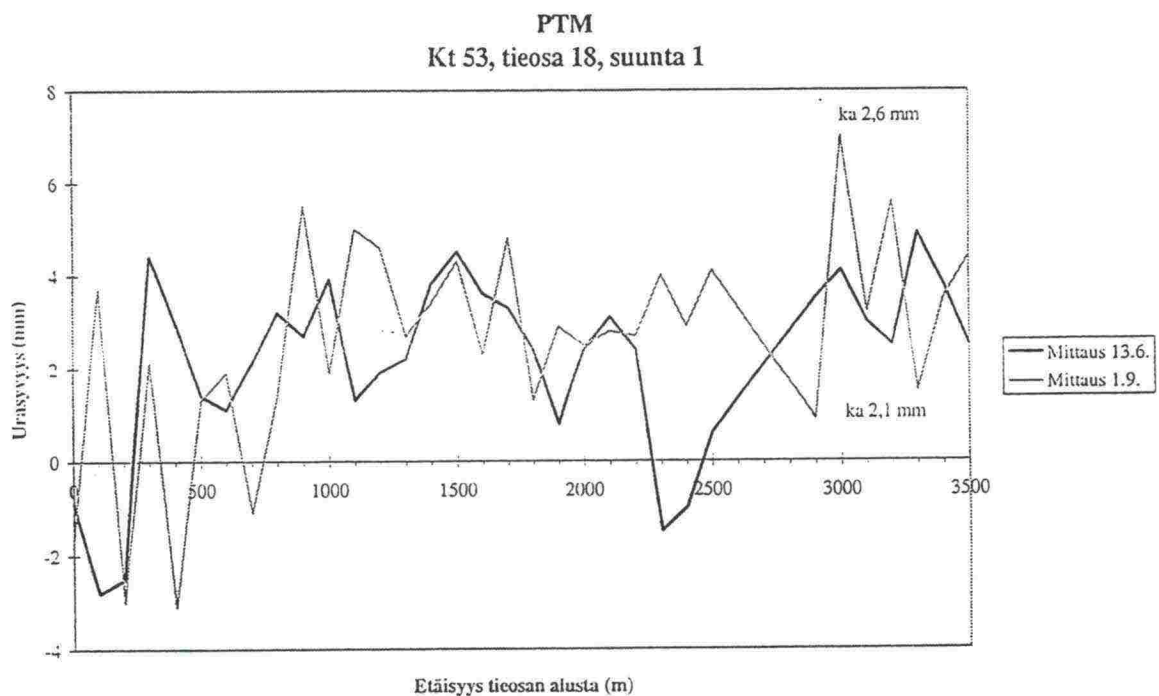
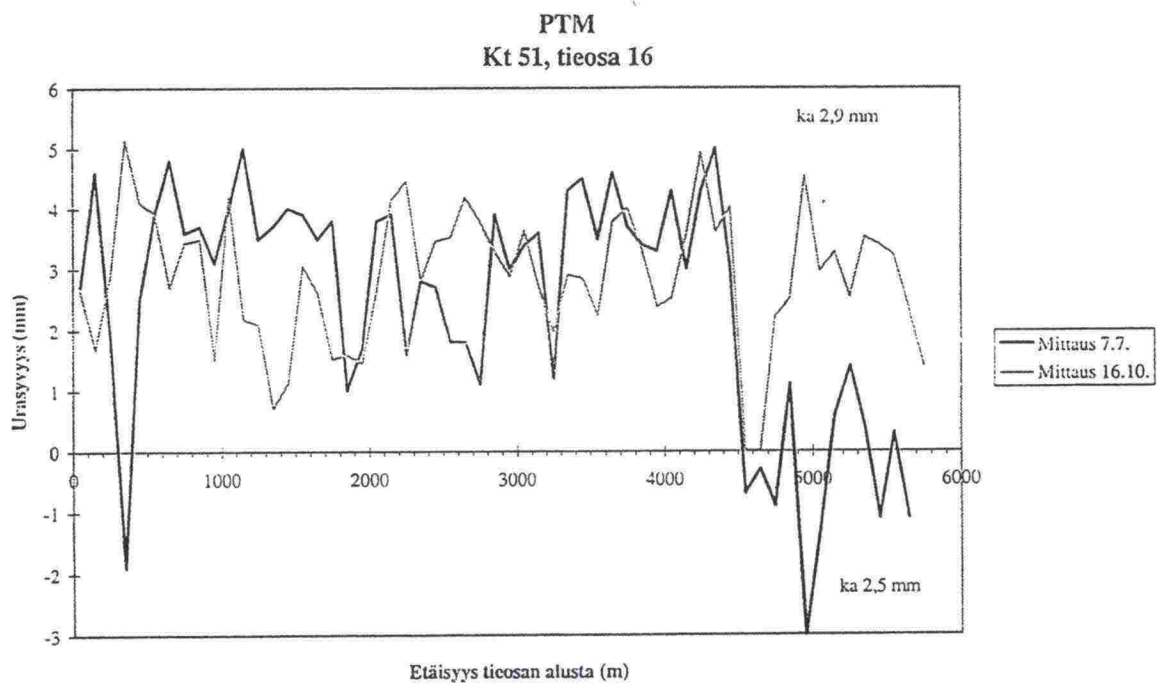
Tielaitoksen Uudenmaan tiepiirissä kesällä 1994 tehtyjen alku-uramittausten sekä syksyllä 1994 samoissa kohteissa tehtyjen seurantamittausten vertailutulokset tieosittain.



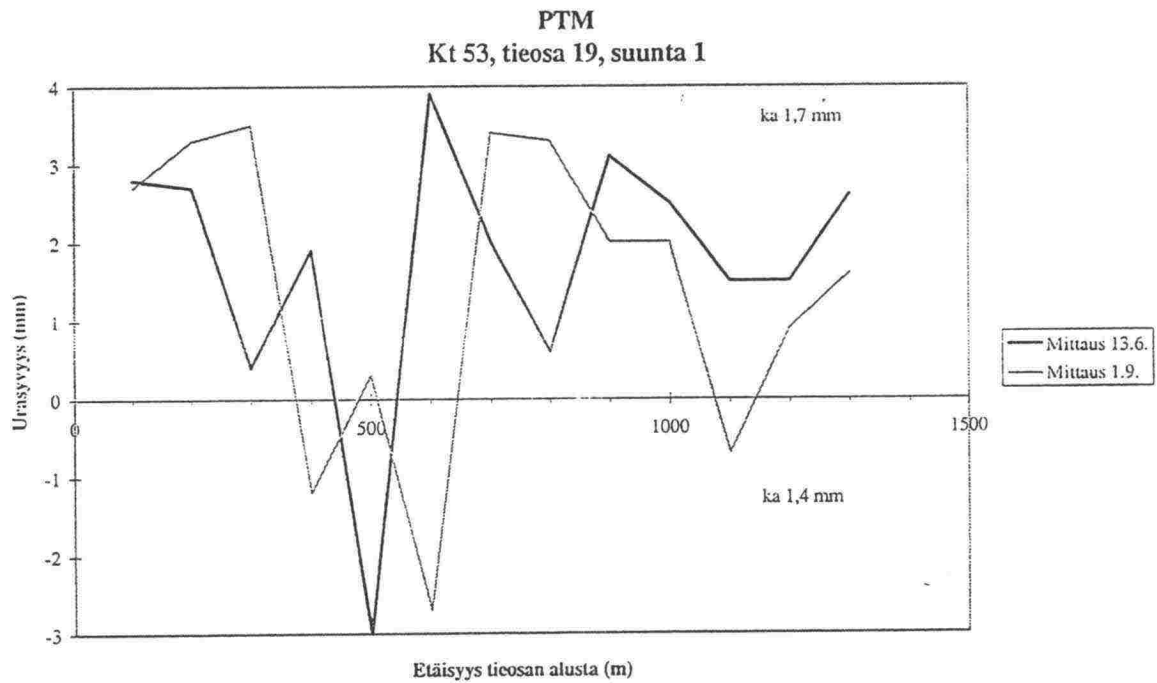
Tielaitoksen Uudenmaan tiepiirissä kesällä 1994 tehtyjen alku-uramittausten sekä syksyllä 1994 samoissa kohteissa tehtyjen seurantamittausten vertailutulokset tieosittain.



Tielaitoksen Uudenmaan tiepiirissä kesällä 1994 tehtyjen alku-uramittausten sekä syksyllä 1994 samoissa kohteissa tehtyjen seurantamittausten vertailutulokset tieosittain.



Tielaitoksen Uudenmaan tiepiirissä kesällä 1994 tehtyjen alku-uramittausten sekä syksyllä 1994 samoissa kohteissa tehtyjen seurantamittausten vertailutulokset tieosittain.



TIELAITOKSEN SELVITYKSIÄ

- 32/1995 Tienpidon pitkän aikavälin suunnittelu Suomessa ja Ruotsissa. TIEL 3200309
- 33/1995 Pyöräilyn edistäminen Euroopassa; Esimerkkejä ja kokemuksia. TIEL 3200310
- 34/1995 Teiden suolauksen vähentämiskokeilu Savo-Karjalan tiepiirissä, loppu-raportti. TIEL 3200311
- 36/1995 Muuttuvien kelivaroitusmerkkien vaikutukset liikennekäyttämiseen Turun tiepiirissä talvella 1993-1994. TIEL 3200313
- 37/1995 Tuntiliikenteen vaikutus liikenneturvallisuuteen. TIEL 3200314
- 38/1995 Liikenneturvallisuus ja tienpidon vaihtoehdot; Tutkimus erilaisten intressi-ryhmien näkemyksistä; Tulosraportti. TIEL 3200315
- 39/1995 Liikenneturvallisuus ja tienpidon vaihtoehdot: Menetelmäraportti. TIEL 3200316
- 40/1995 Pääkaupunkiseudun kulkutapamallien siirrettävyys Ouluun. TIEL 3200317
- 41/1995 Rantasalmen taajamatien parantaminen; Yhteenveto seurannasta. TIEL 3200318
- 42/1995 Visio tiiviistä moottorikadusta. TIEL 3200323
- 43/1995 Tukitelineperustusten kantokyky. TIEL 3200319
- 44/1995 Kaltevan maanpinnan vaikutus perustusten kantokykyyn. TIEL 3200320
- 45/1995 Maanvaraisten perustusten kantokyvyn laskenta elementtimenetelmällä. TIEL 3200321
- 46/1995 Vuosien 1986-1992 henkilöliikennetutkimusten vertailu. TIEL 3200322
- 48/1995 Alueiden kehittäminen ja tiensuunnittelu. TIEL 3200325
- 49/1995 Väylien ja maankäytön suunnittelun vuorovaikutus. TIEL 3200326
- 50/1995 Liikenne- ja autokantaennuste 1995-2020. TIEL 3200327
- 51/1995 Liikenneturvallisuus yleisillä teillä v. 1989-93. TIEL 3200328
- 52/1995 Liikenteen seuranta ja häiriöiden havaitseminen. TIEL 3200329
- 53/1995 Niitto- ja vesakonraivaustöiden turvallisuus. Tuotannon palvelukeskus, Kuopion kehitysyksikkö
- 54/1995 Veittostensuon koerakenteen toiminta ja laadun arviointi. TIEL 3200330
- 55/1995 Alempiasteinen tieverkko ja kylien elinvoimaisuus. TIEL 3200331
- 56/1995 Talvi ja tieliikenne -projekti; Yhteenveto tutkimusohjelman julkaisuista TIEL 3200332
- 57/1995 Road Traffic in Finland; Summary of publications in the research programme. TIEL 3200332E
- 58/1995 Kestävän kehityksen tierakenteet - ideakilpailu. TIEL 3200333

ISSN 0788-3722
ISBN 951-726-128-4
TIEL 3200334